Astabiele multivibratoren

Een astabiele multivibrator is een elektronische schakeling die u gebruikt om blokgolven en pulsen te genereren. In dit artikel worden uitvoeringen met transistors, op-amp's, NAND-poorten, schmitt-trigger poorten en met de timer 555 behandeld.

Auteur: Jos Verstraten, Maastricht, Nederland
Email: verstraten-1947@outlook.com

Publicatiedatum: 26-01-2026

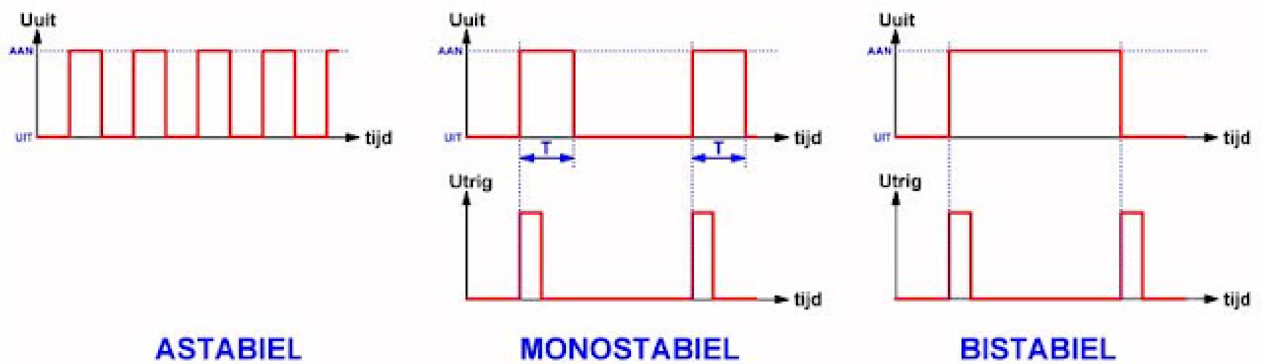
Inleiding

Wat is een multivibrator?
Een multivibrator is een elektronische schakeling die op de uitgang slechts twee toestanden kent: '*AAN*' of '*UIT*'. De toestand '*AAN*' komt in de meeste gevallen overeen met een spanning die gelijk is aan de voedingsspanning van de schakeling. De toestand '*UIT*' is meestal gelijk aan het massapotentiaal, dus 0 V. Een multivibrator is een fundamentele bouwsteen van de analoge en de digitale elektronica en wordt vaak toegepast in allerlei schakelingen.

Drie soorten
Er zijn drie soorten multivibratoren, die zich van elkaar onderscheiden door hun stabiele toestanden:

- **Astabiele multivibrator (AMV):**
  De AMV wordt ook wel '*relaxatie-oscillator*' genoemd. Deze heeft geen stabiele toestand en de uitgang schakelt continu heen en weer tussen '*AAN*' en '*UIT*'. De schakeling werkt dus als een blokgolf oscillator en wordt gebruikt als kloksignaal voor het sturen van een andere schakeling of, als eenvoudigste toepassing, voor een knipperlicht.
- **Monostabiele multivibrator (MMV):**
  Deze heeft één stabiele rusttoestand. Die kan '*AAN*' of '*UIT*' zijn. Na een externe triggerpuls U_{trig} springt de schakeling tijdelijk naar de andere toestand. Na een door u vooraf ingestelde tijd T springt de uitgang automatisch terug naar de stabiele toestand. Een MMV gebruikt u voor timers of pulsverlenging.
- **Bistabiele multivibrator (BMV):**
  Deze schakeling is ook bekend onder de naam '*flip-flop*'. Een flip-flop blijft in een van de twee toestanden staan totdat een externe puls hem dwingt om te klappen naar de andere toestand. Dan blijft hij in die toestand staan tot er weer een externe puls komt. Een BMV is dus een schakeling waarmee u het optreden van een bepaalde actie kunt onthouden en vormt dan ook de basis van alle elektronische geheugens.

De werking grafisch voorgesteld
In de onderstaande figuur hebben wij de principiële werking van de drie multivibratoren grafisch samengevat.



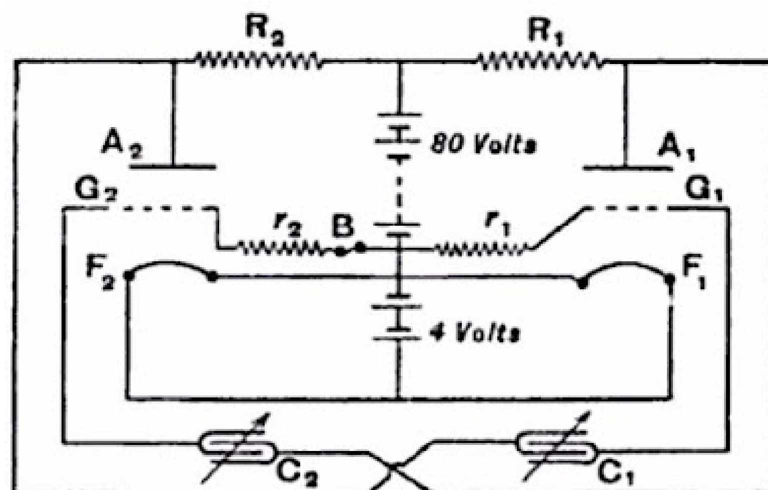
De principiële werking van de multivibratoren. (© 2026 Jos Verstraten)

De astabiele multivibrator
Van de drie soorten is de AMV de schakeling die u in de praktijk het meeste zult tegenkomen of nodig hebben. In dit artikel bespreken wij de basisschakelingen die u kunt toepassen voor het genereren van blokgolven. Het genereren van een blokgolf komt zowel in de analoge als in de digitale elektronica in vrijwel iedere schakeling (met uitzondering van analoge versterkers) aan de orde:
- Knipperlicht schakelingen
- Akoestische alarmschakelingen
- Muziekgeneratoren
- Allerlei soorten timers
- Klokken en chronometers
- Klokgeneratoren voor het besturen van digitale schakelingen
- Pulsbreedte modulatie (dimmen van LED's!)

Ook in de meettechniek worden de uitgangssignalen van AMV's veel toegepast, bijvoorbeeld voor het testen van de pulsweergave en de bandbreedte van versterkers.

Praktische uitvoering van astabiele multivibratoren
AMV's kunt u samenstellen met losse componenten zoals transistors, weerstanden en condensatoren, of met IC's van de TTL- en CMOS-series. Ook met de populaire 555 timer of op-amp's kunt u de dergelijke schakelingen ontwerpen.

Een historische schets
De allereerste astabiele multivibrator schakeling werd in 1919 ontworpen door Henri Abraham en Eugène Bloch. Het was een uitvoering met twee triodes, volgens het onderstaand schema. De schakeling genereerde een blokgolf met een frequentie van 50 kHz. De hogere harmonischen van die blokgolf werden gebruikt voor het ijken van militaire radio-ontvangers. Omdat er in de blokvormige uitgangsspanning zoveel diverse frequenties aanwezig waren noemden de Franse ontwerpers de schakeling de '*Abraham-Bloch multi vibrateur*' ofwel de '*veelvoudige triller*'.

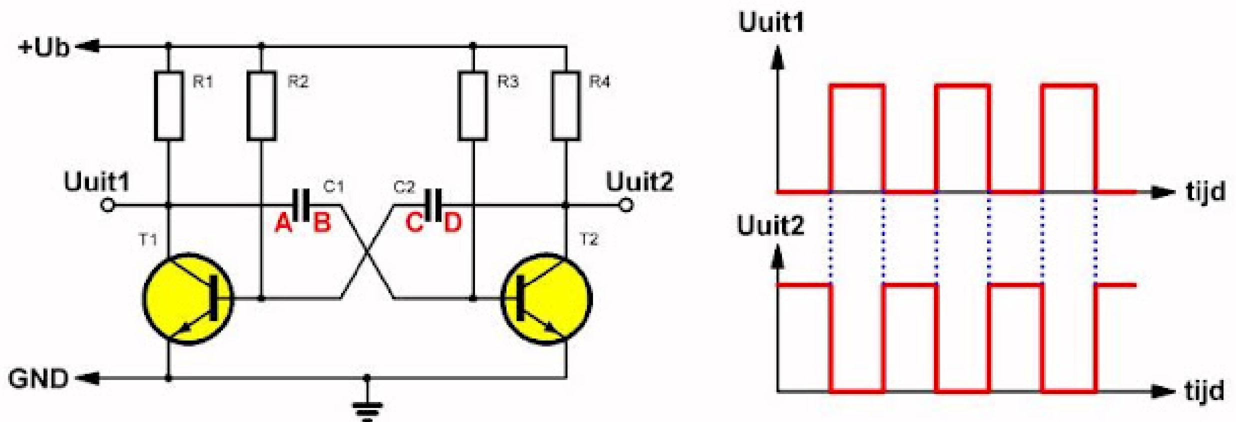


Het schema van de allereerste astabiele multivibrator.
(© 1919 H. Abraham)

Astabiele multivibratoren met transistors

Het basisschema

Het basisschema van een AMV met transistors is weergegeven in de onderstaande figuur. De schakeling bestaat uit twee trappen die onderling zijn gekoppeld. Dat wil zeggen dat de uitgang van de eerste transistor naar de ingang van de tweede gaat en de uitgang van de tweede naar de ingang van de eerste. De koppelingen bestaan uit RC-netwerkjes, die voor de timing van de schakeling zorgdragen.



Basisschema van een AMV met transistors. (© 2026 Jos Verstraten)

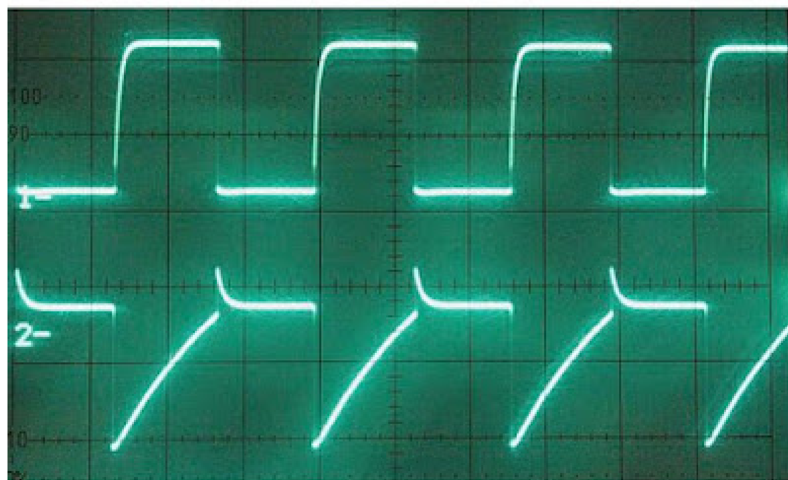
De werking verklaard

Stel dat de schakeling wordt gevoed uit een spanning van 6 V_{dc}. De verklaring van de werking begint met de veronderstelling dat, bij het aanleggen van de voedingsspanning, transistor T1 naar sper gaat en transistor T2 naar geleiden. De collectorspanning van T1 stijgt dan uiteraard naar $+U_b$. Plaat A van condensator C1 stijgt dan ook naar $+U_b$, omdat deze is verbonden met de collector van T1. Omdat T1 in de sperstand staat, geleidt deze geen stroom, er is dus geen spanningsval over de collectorweerstand R1.
De andere kant van condensator C1, plaat B, is verbonden met de basisaansluiting van transistor T2 en staat op een spanning van 0,6 V. Wij zijn immers uitgegaan van de veronderstelling dat transistor T2 geleidt. Condensator C1 heeft dus een potentiaalverschil van +5,4 V over zijn platen (6,0 V – 0,6 V) tussen de punten A en B.
Omdat T2 volledig in geleiding staat, begint condensator C2 op te laden naar $+U_b$ via de weerstand R2. Plaat D van dit onderdeel hangt immers via de geleidende T2 aan de massa.
Wanneer de spanning op plaat C van condensator C2 stijgt tot meer dan 0,6 V, wordt transistor T1 in geleiding gestuurd. Die plaat is immers verbonden met de basis van T1.
Op het moment dat transistor T1 van sper naar geleiden omschakelt, daalt de spanning op plaat A van de condensator C1, die oorspronkelijk op $+U_b$ stond, onmiddellijk naar ongeveer 0 V. Deze snelle spanningsdaling op plaat A veroorzaakt een gelijke en onmiddellijke spanningsdaling op plaat B, waardoor deze plaat naar -5,4 V wordt getrokken. Het is immers een eigenschap van een condensator dat een plotselinge spanningssprong wordt doorgekoppeld van de ene naar de andere plaat. Deze negatieve spanningsdaling wordt aangeboden aan de basis van T2, waardoor deze naar sper gaat.
Condensator C1 begint nu in de tegenovergestelde richting op te laden via weerstand R3. Zijn plaat A hangt nu immers via de geleidende T1 aan de massa.
Zodra de spanning op plaat B 0,6 V positief wordt, schakelt transistor T2 naar verzadiging. Deze actie start het hele proces opnieuw, maar nu met condensator C2 die de basis van transistor T1 naar -5,4 V brengt.
U ziet dat de schakeling afwisselt tussen een instabiele toestand waarin transistor T1 uit staat en transistor T2 aan staat, en een tweede instabiele toestand waarin T1 aan staat en T2 uit staat. De frequentie van het omschakelen wordt bepaald door de RC-waarden van C1-R3 en C2-R2. Dit proces herhaalt zich zolang er voedingsspanning aanwezig is.

Twee transistors zijn nooit helemaal identiek

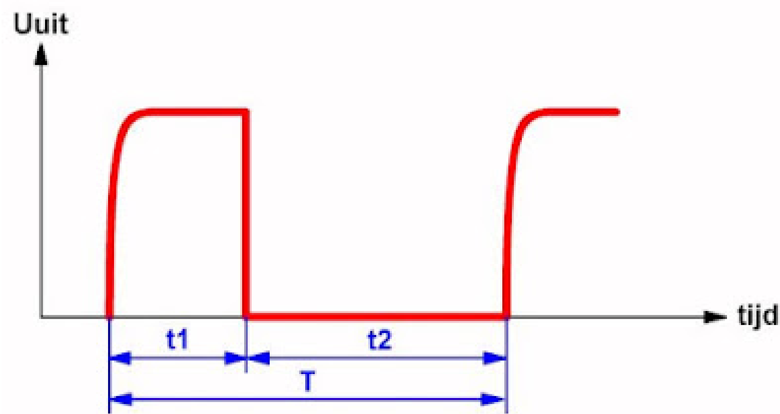
De vraag die nog moet worden beantwoord is waarom wij er zeker van zijn dat, bij het inschakelen van de voeding, altijd één transistor naar sper gaat en de andere naar geleiding. Waarom gaan niet beide naar geleiding? Bij het inschakelen van de voeding staan de twee transistors uiteraard in sper. De basissen trekken stroom uit de voeding via de weerstanden R2 en R3 en willen dus beide naar geleiding omschakelen. Twee transistors zijn echter nooit helemaal identiek, met als gevolg dat er een iets sneller stroom gaat trekken dan de andere. Die snelste transistor gaat naar geleiding, de iets tragere blijft in sper, zijn basissturing valt immers weg.

Geen ideale uitgangsspanning
Uit de grafiek in de vorige tekening zou u de conclusie kunnen trekken dat deze schakeling twee mooie rechthoekvormige signalen levert. Dat wordt bovendien op vrijwel alle schema's die u van deze schakeling tegenkomt zo ingetekend. Dat is echter niet het geval. De spanning op de collector van de transistor die van geleiding naar sper wordt gestuurd gaat niet opeens van 0 V naar $+U_b$. Het opladen van de op de collector aangesloten condensator vraagt een bepaalde stroom, met als gevolg dat het een tijdje duurt alvorens de collectorspanning de waarde $+U_b$ heeft bereikt. In het onderstaande oscillogram ziet u de reële vormen van de spanning op de collector (boven) en de basis (onder) van deze schakeling. U ziet duidelijk de vervorming op de voorflank van de uitgangspuls, veroorzaakt door de laadstroom van de condensator.



De reële spanningsvormen op collector en basis.
(© 2025 GameUnlucky)

De timing van de schakeling
In de onderstaande figuur is een van beide uitgangsspanningen van de schakeling realistischer getekend, met de diverse tijden van de '*AAN*'- en '*UIT*'-toestanden. De periode T van het signaal is gelijk aan:
$T = t_1 + t_2$
met:
$t_1 = 0,693 \cdot C1 \cdot R3$
$t_2 = 0,693 \cdot C2 \cdot R2$
als u de weerstanden in ohm en de condensatoren in farad invult.
Als
C1 = C2 = C
en
R2 = R3 = R
levert de schakeling een mooie symmetrische blokgolf, waarvan de frequentie gegeven wordt door:
f = 1 / [1,386 • R • C] (Hz)



De timing van de uitgangspuls. (© 2026 Jos Verstraten)

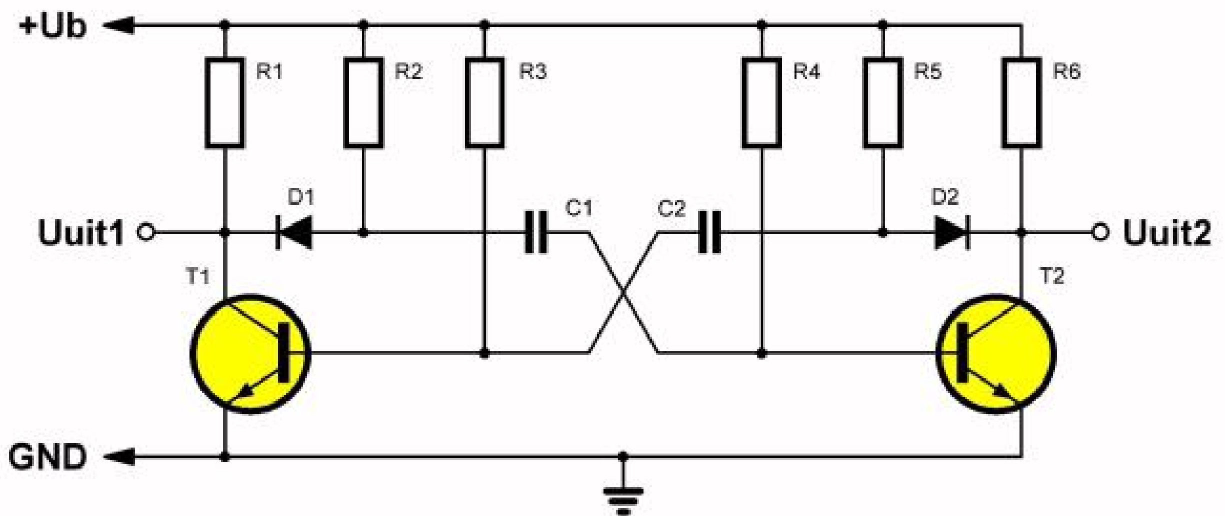
Een frequentietabel voor de tijdsymmetrische AMV
Als u aan de weerstanden en condensatoren rond de twee transistors identieke waarden toekent kunt u gebruikmaken van de onderstaande tabel voor het selecteren van de juiste waarden. U kiest eerst de gewenste frequentie in de tabel, horizontaal staat links de noodzakelijke weerstand en verticaal boven de noodzakelijke condensator.

R \ C	1nF	2.2nF	4.7nF	10nF	22nF	47nF	100nF	220nF	470nF
1.0kΩ	714.3kHz	324.6kHz	151.9kHz	71.4kHz	32.5kHz	15.2kHz	7.1kHz	3.2kHz	1.5kHz
2.2kΩ	324.7kHz	147.6kHz	69.1kHz	32.5kHz	14.7kHz	6.9kHz	3.2kHz	1.5kHz	691Hz
4.7kΩ	151.9kHz	69.1kHz	32.3kHz	15.2kHz	6.9kHz	3.2kHz	1.5kHz	691Hz	323Hz
10kΩ	71.4kHz	32.5kHz	15.2kHz	7.1kHz	3.2kHz	1.5kHz	714Hz	325Hz	152Hz
22kΩ	32.5kHz	14.7kHz	6.9kHz	3.2kHz	1.5kHz	691Hz	325Hz	147Hz	69.1Hz
47kΩ	15.2kHz	6.9kHz	3.2kHz	1.5kHz	691Hz	323Hz	152Hz	69.1Hz	32.5Hz
100kΩ	7.1kHz	3.2kHz	1.5kHz	714Hz	325Hz	152Hz	71.4Hz	32.5Hz	15.2Hz
220kΩ	3.2kHz	1.5kHz	691Hz	325Hz	147Hz	69.1Hz	32.5Hz	15.2Hz	6.9Hz
470kΩ	1.5kHz	691Hz	323Hz	152Hz	69.1Hz	32.5Hz	15.2Hz	6.6Hz	3.2Hz
1MΩ	714Hz	325Hz	152Hz	71.4Hz	32.5Hz	15.2Hz	6.9Hz	3.2Hz	1.5Hz

Frequentietabel voor de tijdsymmetrische AMV.
(© electronics-tutorials, edit 2026 Jos Verstraten)

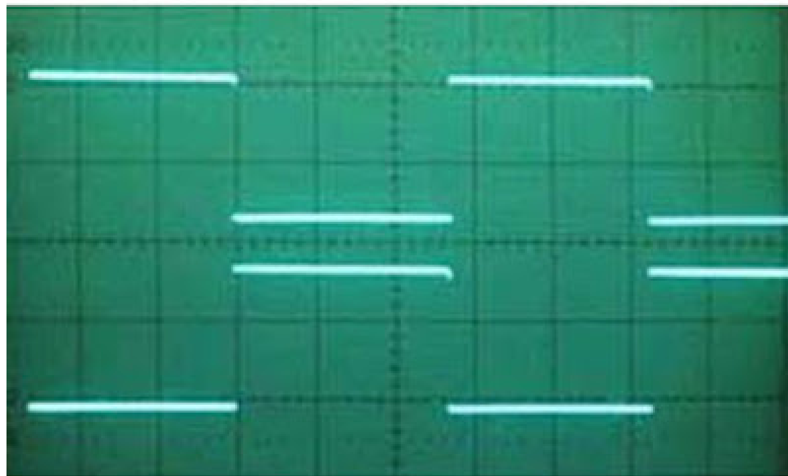
Twee diodes maken een heel groot verschil
Zoals reeds geschreven is het nadeel van de basisschakeling dat de voorflank van de uitgangspuls niet stijl is als gevolg van het laden van de condensatoren. Dit schoonheidsfoutje kan gemakkelijk worden hersteld door het uitbreiden van de schakeling met twee diodes en

twee weerstanden. Het schema is getekend in de onderstaande figuur.



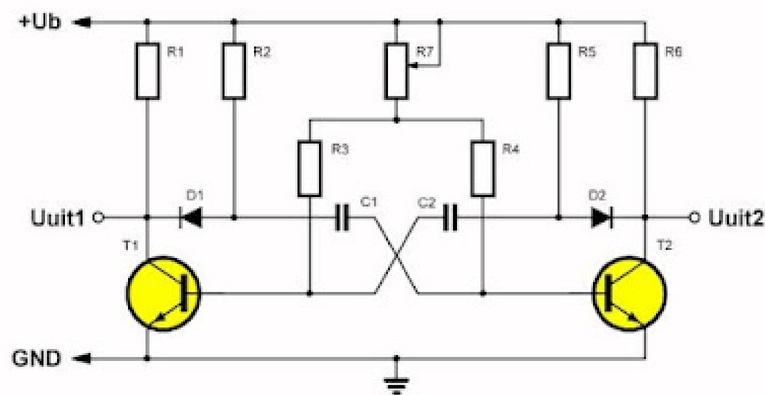
Het aangepaste schema. (© 2026 Jos Verstraten)

Stel dat de transistor T1 van sper naar geleiden omschakelt. De collector gaat dan opeens van 0 V naar de voedingsspanning. De linker plaat van condensator C1 stond op massapotentiaal en wil nu gaan opladen tot de voedingsspanning. De diode D1 verhindert echter dat dit opladen gebeurt via R1. De kathode is immers positiever dan de anode en de diode spert. De condensator moet het stellen met R2 als oplaadweerstand. Het gevolg is dat het signaal op de collector niet wordt aangetast door het opladen van de condensator en netjes en snel van 0 V naar $+U_b$ schakelt.
Dat dit niet alleen theorie is, maar ook praktijk bewijst onderstaand oscillogram waarop u de twee uitgangssignalen van de schakeling kunt bewonderen.



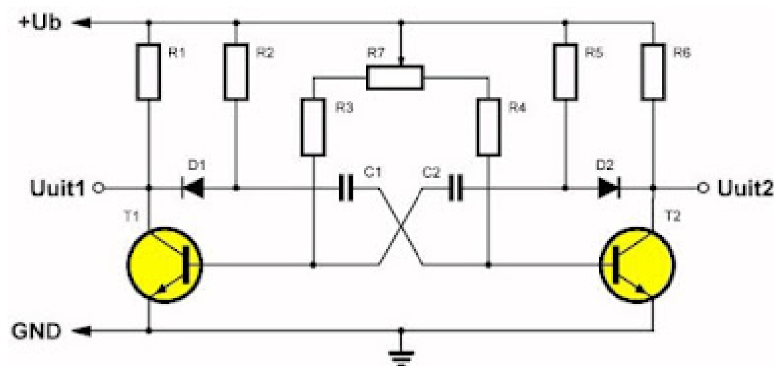
De twee uitgangssignalen. (© Eric Coates)

Variëren van de frequentie
De frequentie hangt af van de waarden van de basisweerstanden en -condensatoren. Door via een 2 x 6 standen draaischakelaar steeds twee andere condensatoren in de schakeling op te nemen kunt u de frequentie over een groot bereik instellen. De frequentie fijn regelen gaat het beste door de waarde van de twee basisweerstanden te variëren. U kunt hiervoor een stereo-potentiometer toepassen, waar ook het onderstaand schema gebruiken. De twee basisweerstanden R3 en R4 gaan nu niet rechtstreeks naar de voeding, maar via een potentiometer R7. Als u deze opendraait gaat de waarde van de basisweerstanden stijgen en de frequentie dus dalen. Een goede verhouding tussen R7 en R3-R4 is 10/1. Kies bijvoorbeeld voor R7 een potentiometer van 47 kΩ en voor R3 en R4 vaste weerstanden van 4,7 kΩ.



Het fijn regelen van de frequentie. (© 2026 Jos Verstraten)

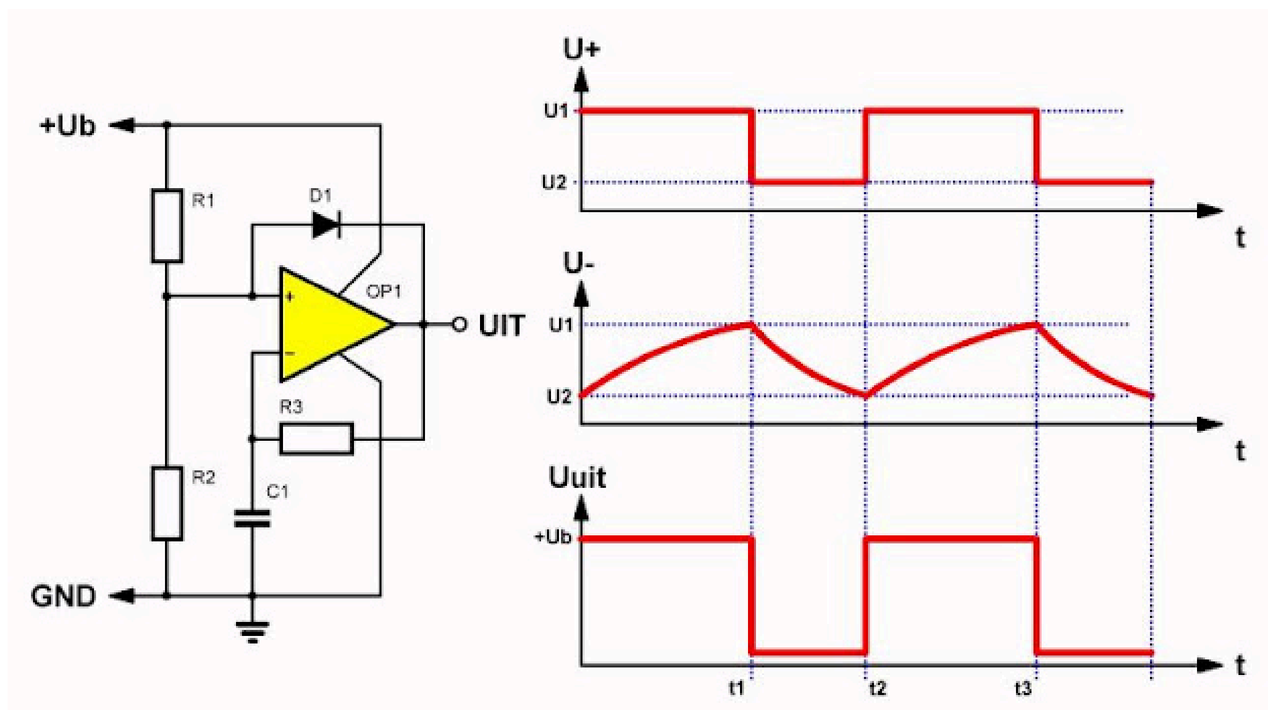
Variëren van de duty-cycle
De duty-cycle definieert de verhouding tussen de tijdsduur van de '*AAN*'- en '*UIT*'-toestanden van de AMV in procenten. Een tijdsymmetrische AMV heeft een duty-cycle van 50 %. Een AMV met een duty-cycle van 10 % heeft een uitgang die 10 % van de periodetijd '*AAN*' is en 90 % van die tijd '*UIT*'. Het is heel handig om die grootheid over een groot bereik te kunnen regelen. Dergelijke in breedte instelbare signalen zijn bijvoorbeeld uitermate geschikt om de intensiteit van LED-lampen probleemloos te regelen.
In de onderstaande figuur is een eenvoudige manier voorgesteld waarmee u de duty-cycle van de AMV kunt instellen. De reeds bekende potentiometer R7 wordt nu op een iets andere manier in het schema opgenomen. U varieert nu de verhouding tussen de laadweerstand van de linker transistor en deze van de rechter transistor. Staat de loper van de potentiometer in de meest linkse stand, dan verhouden de laadweerstanden zich als R3 tot [R7 + R4].
Staat de loper in de meest rechtse stand, dan draait deze verhouding om: [R3 + R7] tot R4. Op deze manier kunt u de duty-cycle van de uitgangspulsen op een hele eenvoudige manier variëren.



Het regelen van de duty-cycle. (© 2026 Jos Verstraten)

Astabiele multivibratoren met op-amp's

Het basisschema met enkelvoudige voeding
De basisschakeling van een AMV met een op-amp is getekend in de onderstaande figuur. Let op dat dit schema uitgaat van enkelvoudige positieve voeding $+U_b$! De niet-inverterende ingang van de op-amp wordt door middel van de twee weerstanden R1 en R2 ingesteld op een spanning U1. De inverterende ingang is aangesloten op een condensator C1, die naar de massa is geschakeld en houdt bovendien voeling met wat er op de uitgang gebeurt door middel van de terugkoppelweerstand R3. Er is nog een tweede terugkoppeling in de schakeling opgenomen, namelijk de diode D1 die de niet-inverterende ingang onder bepaalde voorwaarden terugkoppelt naar de uitgang.



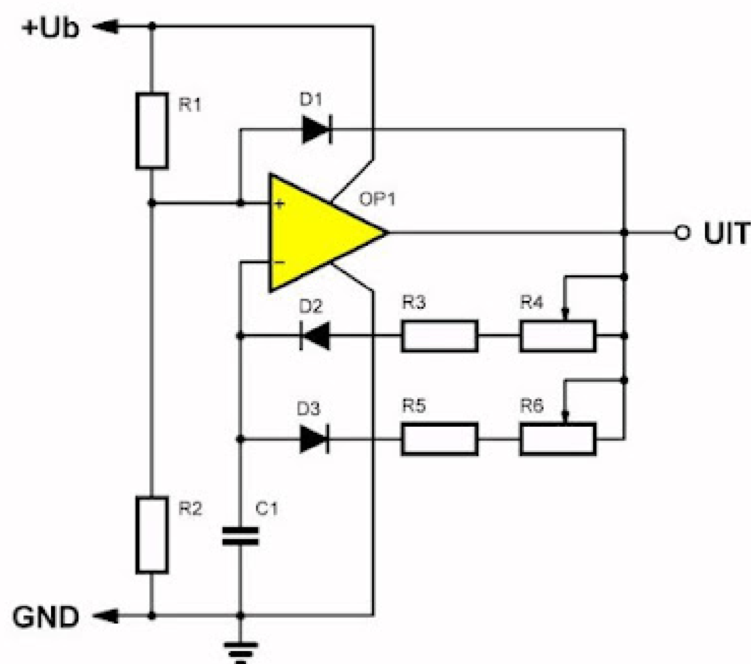
Het meest eenvoudige schema van een AMV met een op-amp. (© 2026 Jos Verstraten)

De werking van de schakeling
De werking van de schakeling wordt besproken aan de hand van de grafieken rechts in de figuur. Stel dat de schakeling met de voedingsspanning wordt verbonden. De niet-inverterende ingang van de op-amp stelt zich, dank zij de spanningsdeler R1/R2, in op de spanning U_1. De condensator C1 is volledig ontladen, de spanning op de inverterende ingang is nul. De niet-inverterende ingang is positiever dan de spanning op de inverterende ingang, de uitgang van de op-amp gaat naar de voedingsspanning. De condensator C1 gaat opladen via de weerstand R3 uit deze hoge spanning. De spanning op de inverterende ingang gaat dus langzaam stijgen. De snelheid waarmee deze spanning stijgt wordt bepaald door de waarden van de weerstand R3 en de condensator C1. Op tijdstip t_1 is de condensator geladen tot de spanning U_1. Even later wordt de spanning op de inverterende ingang dus hoger dan de spanning op de niet-inverterende ingang.
Het gevolg is dat de op-amp, die als comparator werkt, omschakelt en de uitgang naar een lage spanning gaat. De diode D1, tot nu toe niet actief, gaat nu geleiden. De kathode wordt immers negatiever dan de anode. De niet-inverterende ingang van de op-amp wordt via de geleidende diode verbonden met de lage uitgangsspanning op de uitgang van de schakeling. Het gevolg is dat de spanning op de niet-inverterende ingang daalt tot een spanning U_2. Deze is gelijk aan de uitgangsspanning van de op-amp plus de geleidingsspanning van de diode D1. De geladen condensator C1 gaat nu ontladen via de weerstand R3 tot de lage uitgangsspanning van de op-amp. Op tijdstip t_2 wordt de spanning over de condensator gelijk aan de spanning U_2. De inverterende ingang wordt negatiever dan de niet-inverterende ingang, het gevolg is dat de uitgang van de op-amp weer gelijk wordt aan de waarde van de voedingsspanning. De schakeling bevindt zich weer in de uitgangssituatie.

Samengevat
De schakeling wekt op de uitgang een rechthoekvormige spanning op, waarvan de frequentie wordt bepaald door de waarde van de condensator C1 en de weerstand R3.

Instellen van de duty-cycle
De besproken schakeling wekt een rechthoekvormige spanning op, maar de verhouding tussen de '*AAN*'- en '*UIT*'-tijd is niet instelbaar. De duty-cycle wordt alleen bepaald door de tijdconstante van het laden en ontladen van de condensator C1. Nu zijn deze tijdconstanten weliswaar even groot, maar dat wil nog niet zeggen dat het laden en ontladen even lang duurt. Dat is een gevolg van de verschillende laad- en ontlaadkarakteristieken van een condensator. Het gevolg is dat de uitgang een niet-symmetrische rechthoekspanning opwekt, een spanning waarvan de '*AAN*'-tijd niet gelijk is aan de '*UIT*'-tijd.

Voor vele toepassingen is het echter noodzakelijk dat een rechthoekspanning met een gedefinieerde '*AAN-UIT*' verhouding wordt gegenereerd. De basisschakeling is op een eenvoudige manier uit te breiden tot een systeem waarmee deze aan-uit verhouding instelbaar is.
Hoe u dat kan doen is geschetst in de onderstaande figuur. De condensator C1 wordt nu geladen en ontladen via twee afzonderlijke weerstanden R3+R4 en R5+R6. De diodes D2 en D3 zorgen ervoor dat weerstand R3+R4 wordt gebruikt voor het laden en weerstand R5+R6 voor het ontladen. Als de uitgangsspanning van de op-amp hoog is gaat immers alleen D2 geleiden met als gevolg dat de stroomkring tussen C1 en R3+R4 wordt gesloten. De diode D3 spert en de weerstand R5+R6 is niet actief. Als de uitgangsspanning laag wordt gaat D2 sperren en D3 geleiden. Dan wordt de condensator C1 ontladen via de weerstand R5+R6. Door beide weerstanden deels onder de vorm van potentiometers uit te voeren kunt u de laad- en ontlaadtijden van de condensator C1 individueel instellen. Op deze manier is het mogelijk een uitgangspuls op te wekken met een instelbare duty-cycle.

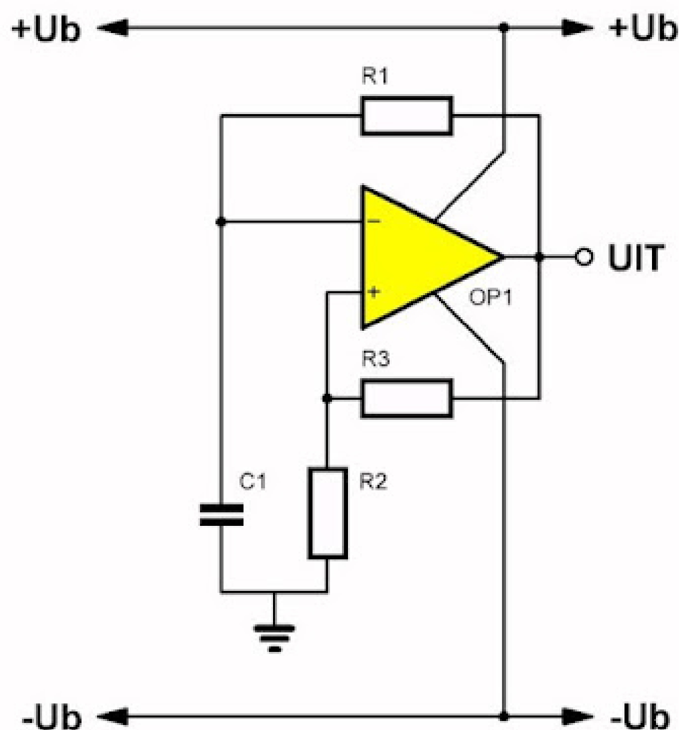


Instellen van de tijden van de 'AAN'- en 'UIT'-toestanden.
(© 2026 Jos Verstraten)

Voor- en nadelen van de schakeling
De besproken schakeling heeft als voordeel dat zij zeer eenvoudig is en probleemloos werkt. Maar daar staat ook een aantal nadelen tegenover.
De waarde van de frequentie is in niet geringe mate afhankelijk van de grootte van de voedingsspanning. Hoe hoger deze is, hoe sneller de condensator zal opladen. Wilt u een generator ontwerpen met een zeer constante frequentie, dan is het absoluut noodzakelijk de op-amp uit een zeer goed gestabiliseerde voeding te voeden.
Operationele versterkers zijn, dat is algemeen bekend, geen snelheidsmonsters. Iedere op-amp wordt gedefinieerd door een bepaalde '*slew-rate*', uitgedrukt in V/µs. Deze grootheid geeft aan hoe snel de spanning op de uitgang van de op-amp kan stijgen of dalen. Deze grootheid bepaalt dus in deze toepassing hoe snel de rechthoekspanning van '*AAN*' naar '*UIT*' en van '*UIT*' naar '*AAN*' omschakelt. Omdat deze slew-rate bij de meeste operationele versterkers tamelijk laag is moet u niet verwachten dat u deze schakeling kunt gebruiken voor het genereren van een rechthoekspanning met een frequentie van 10 MHz. Voor vele op-amp's is 100 kHz zo ongeveer de grens waarbij u een acceptabele uitgangsspanning kunt verwachten.

Symmetrische voeding
Als u de operationele versterker gebruikt in een systeem met symmetrische voeding kunt u de schakeling nog iets vereenvoudigen. Het schema is getekend in de onderstaande figuur. De schakeling rond de inverterende ingang is identiek. De niet-inverterende ingang is nu echter ook opgenomen in een resistieve terugkoppeling tussen de massa en de uitgang.

Bij het verbinden met de symmetrische voedingsspanningen zal de inverterende ingang op 0 V staan. De condensator C1 is immers ontladen. Afhankelijk van de polariteit van de offsetspanning van de op-amp zal de niet-inverterende ingang iets positiever of iets negatiever zijn dan 0 V. De uitgang van de op-amp loopt dus vast tegen een van de voedingsspanningen. Afhankelijk van de polariteit van de uitgang zal de niet-inverterende ingang zich instellen op een positieve of negatieve referentiespanning. De waarde van deze spanning wordt bepaald door de verhouding tussen R2 en R3.
De condensator C1 zal zich, alweer afhankelijk van de polariteit van de uitgang, positief opladen of negatief ontladen. Wat ook het geval zij, na enige tijd wordt de spanning op de inverterende ingang groter of kleiner dan de spanning op de niet-inverterende ingang. Het gevolg is dat de uitgang van de op-amp omklapt van + naar - of van - naar + en dat de condensator in de tegengestelde zin wordt geladen of ontladen.
Ook nu wordt de frequentie van het uitgangssignaal alleen bepaald door de waarden van de passieve onderdelen rond de op-amp en door de waarde van de voedingsspanning. De uitgang levert een niet symmetrische rechthoekspanning af, die heen en weer springt tussen een negatieve '*L*' en een positieve '*H*'.
Nadeel van deze schakeling is dat de spanning over de condensator zowel negatief als positief zal worden. Het is dus niet mogelijk een elco toe te passen.
Ook nu kunt u het reeds besproken principe toepassen voor het regelen van de aan-uit verhouding van de uitgangspuls.



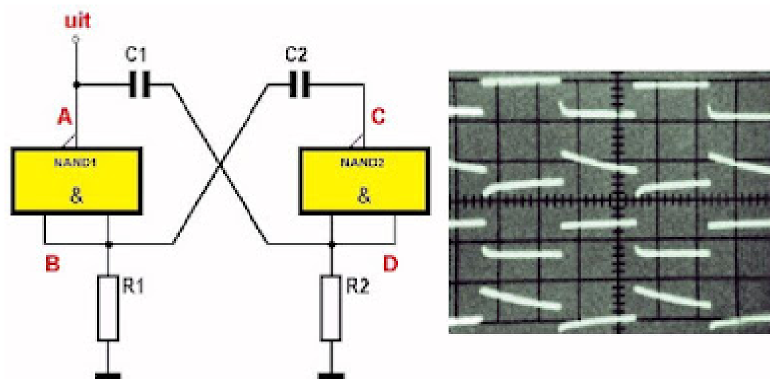
Het schema met symmetrische voeding.
(© 2026 Jos Verstraten)

Astabiele multivibratoren met NAND-poorten

Populaire NAND-poorten
Uit de TTL-serie is de 74LS00 de meest bekende viervoudige NAND-poort. Tegenwoordig wordt de TTL-logica echter amper nog gebruikt en werkt iedereen met CMOS-schakelingen. In die familie is de CD4011 de populairste en goedkoopste viervoudige NAND-poort. Met beide schakelingen kunt u astabiele multivibratoren samenstellen.

Het eenvoudigste schema

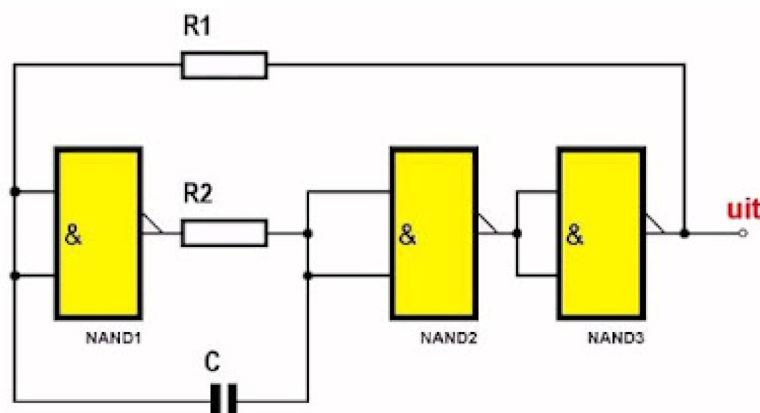
Onderstaande figuur toont de allereenvoudigste vorm van een NAND-AMV. De schakeling bestaat uit twee inverters, die via RC-kringen met elkaar zijn gekoppeld. Aan de uitgangen A en C ontstaan vierkantgolven, die elkaars inverse zijn. Aan de hand van de rechter oscillogrammen wordt de werking toegelicht. U start de redenering bijvoorbeeld op het moment dat A van '*H*' naar '*L*' springt. De condensator C1 laat deze sprong ongehinderd door, zodat punt D negatief wordt. Het gevolg is dat C en dus ook B '*H*' worden. Hierdoor wordt de negatieve sprong van A aangemoedigd. Het omschakelen van de ene toestand naar de andere gebeurt dus bijzonder snel. De condensatoren gaan zich nu ontladen. C1 doet dat over R2. Het enige dat hierdoor kan gebeuren is, dat de spanning op D naar massapotentiaal streeft. Condensator C2 echter misbruikt weerstand R1 voor zijn ontlaadneigingen. Hierdoor daalt de spanning op B. Op een bepaald ogenblik wordt deze spanning zo laag dat de poort zich genoodzaakt voelt om in actie te komen. A wordt opnieuw '*H*', een sprong die D trouw volgt. Gevolg is dat B en C in negatieve zin variëren, waardoor de positieve sprong op A wordt versterkt. De schakeling is in haar tweede astabiele toestand. De spanningsdaling op D, door het ontladen van C1, bepaalt het moment van omschakelen waardoor u in de uitgangspositie belandt.



De meest eenvoudige uitvoering van een AMV met twee NAND-poorten.
(© 2026 Jos Verstraten)

Nadeel van de schakeling
Deze zeer eenvoudige schakeling heeft één nadeel, zij is namelijk niet 100 % zelfstartend. Als de voedingsspanning bij aanschakelen langzaam opkomt, iets dat bij sommige gestabiliseerde voedingen het geval is, kan het gebeuren dat de oscillator niet wil starten.

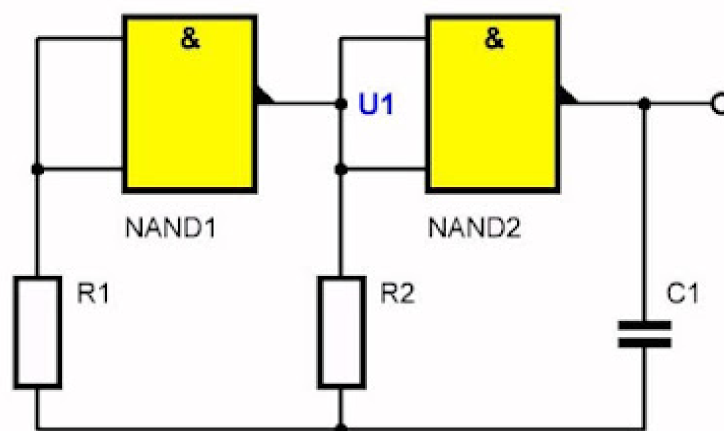
Een alternatieve AMV met drie NAND-poorten
Een alternatieve schakeling, waarbij slechts één condensator nodig is maar wel drie NAND-poorten en die wel 100 % zelfstartend is, wordt in onderstaande figuur voorgesteld. Deze astabiele multivibrator heeft bovendien het voordeel dat de uitgangspuls mooier van vorm is dan die van de vorige schakeling.



Een alternatieve AMV met slechts één condensator, maar drie NAND-poorten.
(© 2026 Jos Verstraten)

Een tweede alternatieve AMV, nu met twee NAND-poorten

Een ander alternatief zult u vaak aantreffen in de datasheets van NAND-poorten en wordt voorgesteld in de onderstaande figuur. Stel dat de uitgang van NAND1 '*H*' is. De output van NAND2 is dan '*L*'. Dat moet ook de spanning zijn op de ingang van NAND1. De spanning op punt U_1 begint de condensator C1 op te laden via R2. Het knooppunt van R2 en C1 is via R1 aangesloten op de ingang van NAND1. Op een bepaald moment is de condensator zover opgeladen dat de omschakeldrempel van NAND1 wordt overschreden. De spanning op de ingang wordt geïnterpreteerd als '*H*'. De uitgang van deze poort wordt '*L*' en de uitgang van NAND2 wordt '*H*'.
De condensator C1 wordt nu vanuit deze hoge uitgang ontladen door het lopen van een stroom in de andere richting. Op een bepaald moment is deze stroom zo laag geworden dat het knooppunt van R1 en R2 weer onder de omschakeldrempel van NAND1 komt. Deze spanning wordt geïnterpreteerd als '*L*', de uitgang van NAND1 wordt weer '*H*' en de cyclus kan weer beginnen.
In de meeste gevallen kiest men de waarde van R1 ongeveer tien keer groter dan deze van R2.
De periodeduur van deze schakeling wordt gegeven door de formule:
T = 2,2 • R2 • C1

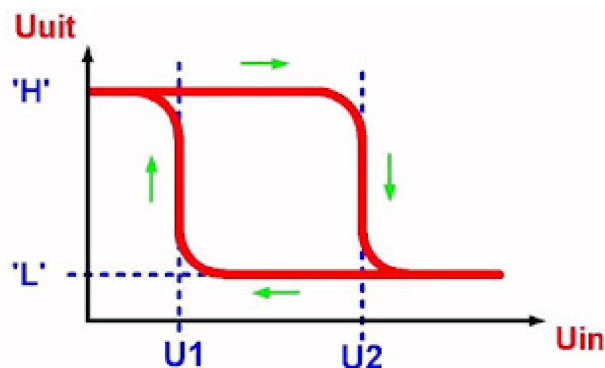


Een alternatieve AMV met slechts twee NAND-poorten.
(© 2026 Jos Verstraten)

Astabiele multivibratoren met schmitt-trigger poorten

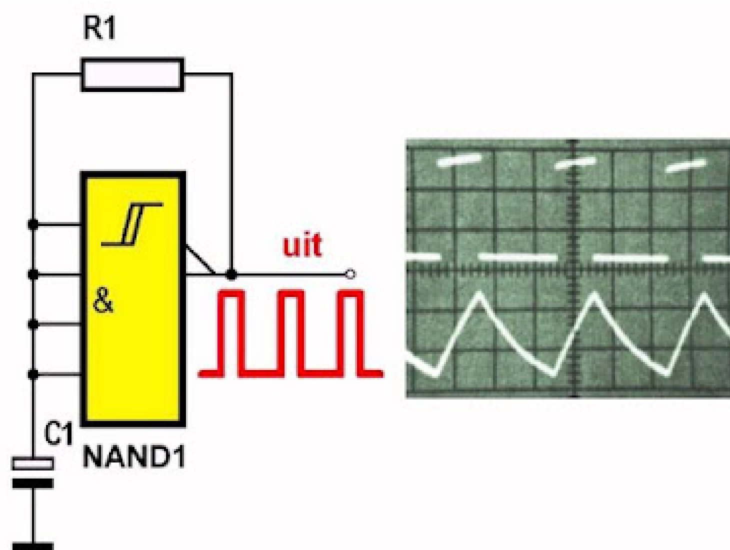
Wat is een schmitt-trigger poort?

Het enige verschil met een gewone NAND-poort is, dat aan de begrippen '*L*' en '*H*' aan de ingang een andere betekenis moet worden toegekend. Onderstaande figuur verduidelijkt wat u daaronder moet verstaan. In deze grafiek is de uitgangsspanning uitgezet in functie van de ingangsspanning. Zolang de ingangsspanning kleiner is dan U_2, is de uitgang logisch '*H*'. Overschrijdt de ingangsspanning deze drempel, dan wordt de uitgang '*L*'. Als de ingangsspanning weer daalt, gebeurt het omschakelen niet bij U_2 maar bij U_1. Het spanningsverschil tussen het in- en uitschakelen noemt men de '*hysteresis*' en is een eigenschap van alle schmitt-triggers.



De karakteristiek van een schmitt-trigger NAND-poort.
(© 2026 Jos Verstraten)

Een AMV met een schmitt-trigger poort
Een monostabiele multivibrator met een zeer groot frequentiebereik kunt u volgens onderstaande figuur opbouwen. Door de waarde van de condensator C1 te variëren is een frequentiebereik van acht decaden mogelijk. De werking wordt beschreven aan de hand van de rechter oscillogrammen. De bovenste geeft de uitgang, de onderste de ingang van de poort. Stel dat de condensator ontladen is. De ingang is dus 0 V, zodat de uitgang '*H*' is. Deze spanning zal de condensator met een bepaalde stroom opladen via de weerstand. Als de condensatorspanning gestegen is tot de bovenste schmitt-trigger drempel triggert de NAND1 en de uitgang wordt '*L*'. De condensator ontlaadt dan via dezelfde weerstand. Dit duurt tot de condensatorspanning gedaald is tot de onderste drempel, de uitgang wordt weer '*H*', de condensator laadt opnieuw op. Het zal duidelijk zijn dat u door het veranderen van de waarde van C de frequentie kunt beïnvloeden. Voor NAND1 kunt u bijvoorbeeld de zeer populaire CD4093 toepassen of de 74HCT132.



Een AMV met een schmitt-trigger NAND-poort. (© 2026 Jos Verstraten)

Opmerking

Wij gebruiken in de vorige schakelingen NAND-poorten omdat die zeer populair zijn en u er waarschijnlijk wel een paar in de la hebt liggen. Alle ingangen van de poorten worden samen verbonden en gebruikt als één ingang. U kunt deze schakelingen dus ook opbouwen met inverters in plaats van met NAND-poorten.

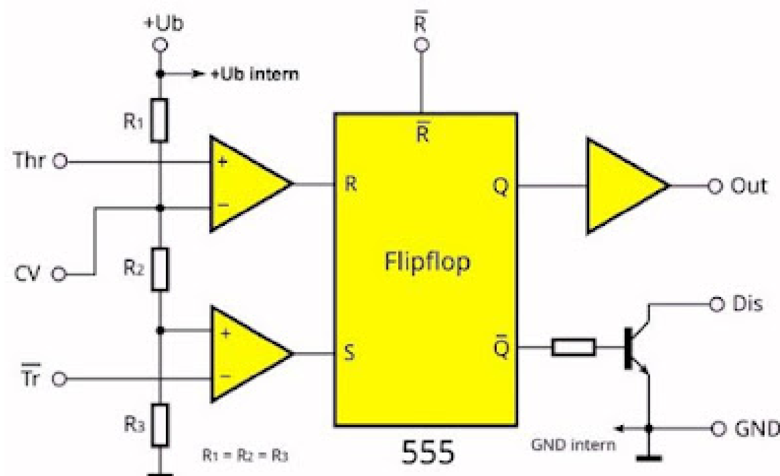
Astabiele multivibratoren met de timer 555

Wat is de 555?
De timer 555 is een van de meest toegepaste IC's in de elektronica. Hij werd in 1971 ontwikkeld door Hans Camenzind en is ontworpen om te gebruiken in tijdschakelaars, oscillatoren en pulsgeneratoren. Het is dus vrij logisch dat deze chip ook bruikbaar is voor het samenstellen van een astabiele multivibrator. Door zijn eenvoud, robuustheid en brede toepassingsgebied wordt hij nog steeds veel gebruikt in onderwijs, hobby- en industriële toepassingen.

Het interne van de 555
In de onderstaande figuur ziet u de schakelingen in de 555. De interne elektronica bestaat uit vijf hoofdblokken:

- Spanningsdeler R1, R2 en R3 van drie 5 kΩ weerstanden:
  Deze verdeelt de voedingsspanning in ⅓ U_b en ⅔ U_b.
- Twee comparatoren:
  De trigger-comparator vergelijkt de ingangsspanning met ⅓ U_b, de threshold-comparator vergelijkt de ingangsspanning met ⅔ U_b.
- RS flip-flop:
  Set of reset op basis van de informatie van de twee comparatoren.
- Ontlaadtransistor:
  Kan een externe condensator naar massa ontladen via de '*Dis*'-pen.
- Uitgangsdriver:
  Een push-pull eindtrap, die zowel stroom kan leveren als opnemen.

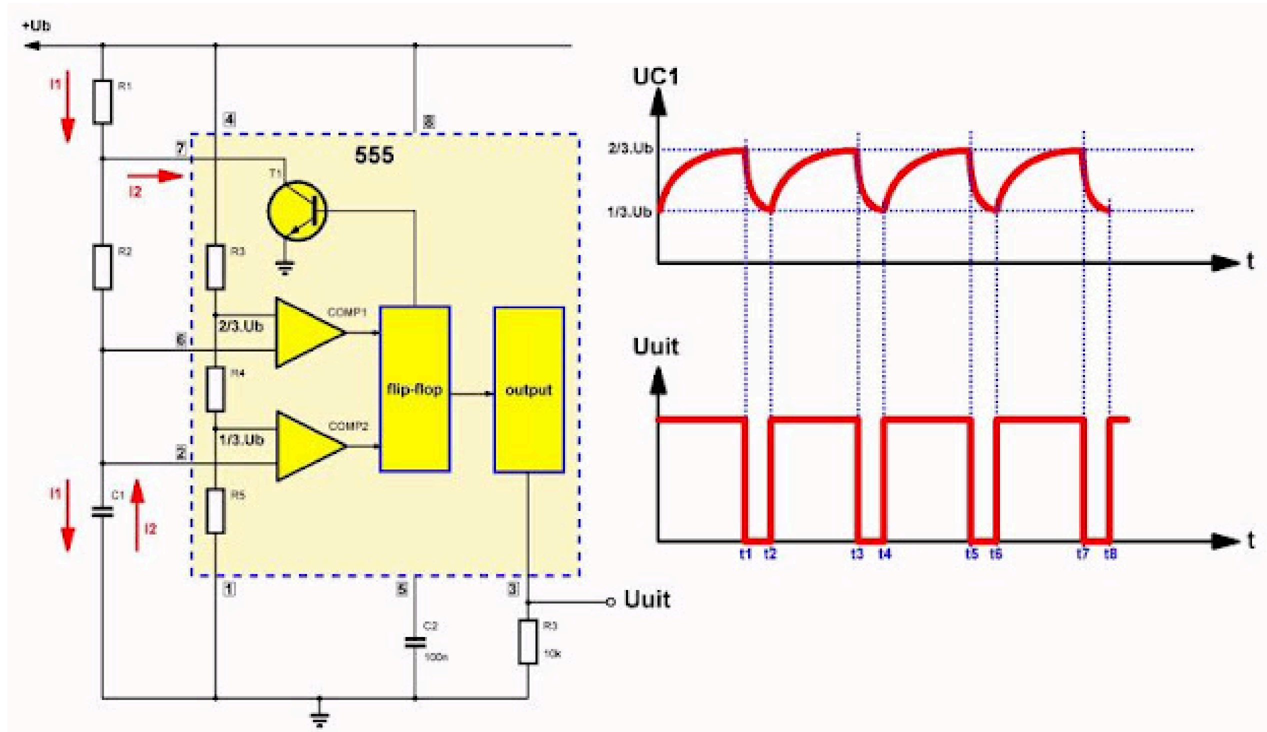
De basiswerking van de 555 kan als volgt worden samengevat:
Als '*Trigger*' kleiner is dan ⅓ U_b wordt de flip-flop gezet en wordt de uitgang hoog.
Als '*Threshold*' groter is dan ⅔ U_b wordt de flip-flop gereset en wordt de uitgang laag.
Bij reset wordt de ontlaadtransistor ingeschakeld en deze ontlaadt de externe timingcondensator.



Het intern schema van de 555. (© 2026 Jos Verstraten)

Een AMV met de 555
In de onderstaande figuur is het basisschema van een 555-AMV voorgesteld. Twee weerstanden R1 en R2 en een condensator C1 zijn in serie geschakeld tussen de voeding +U_b en de massa. Het knooppunt van R1 en C1 gaat naar de ingangen van de twee comparatoren in de 555. De werking van de schakeling wordt toegelicht aan de hand van de grafieken rechts in de figuur.
Als u de voedingsspanning aanzet is de condensator volledig ontladen. De spanning over C1 is dus 0 V en de twee interne comparatoren zijn in rust. Er gaat nu een stroom I_1 vloeien vanuit de positieve voeding via de weerstanden R1 en R2. De spanning over de condensator gaat stijgen. Na een bepaalde tijd wordt de condensatorspanning gelijk aan ⅓ van de voedingsspanning. De onderste comparator klapt om, maar deze actie heeft op dit moment nog geen gevolgen. Even later is de condensatorspanning gestegen tot ⅔ van de voedingsspanning. In de grafiek komt dit moment overeen met tijdstip t_1. De bovenste

comparator in de 555 klapt om en deze reset de interne flip-flop. De uitgang van de 555 gaat naar '*L*' en de interne transistor T1 wordt in geleiding gestuurd. Het gevolg is dat er een tweede stroom I_2 gaat vloeien die de condensator ontlaadt via de weerstand R2. Het knooppunt tussen R1 en R2 wordt immers door de geleidende transistor T1 naar de massa getrokken. Als u er voor zorgt dat R2 veel kleiner is dan R1 zal de ontlaadstroom I_2 veel groter zijn dan de laadstroom I_1. De spanning over de condensator valt dus snel terug tot ⅓ van de voedingsspanning. Op moment t_2 bereikt de spanning deze drempel, de onderste comparator in de 555 klapt om. Deze set de flip-flop, de uitgang wordt '*H*' en T1 wordt naar sper gestuurd. De laadstroom I_1 gaat weer vloeien en de condensator wordt opgeladen van ⅓ U_b tot ⅔ U_b.
U kunt dus besluiten dat op de uitgang een pulsvormige spanning ontstaat en de spanning over de condensator C1 varieert tussen de grenzen ⅓ U_b en ⅔ U_b.



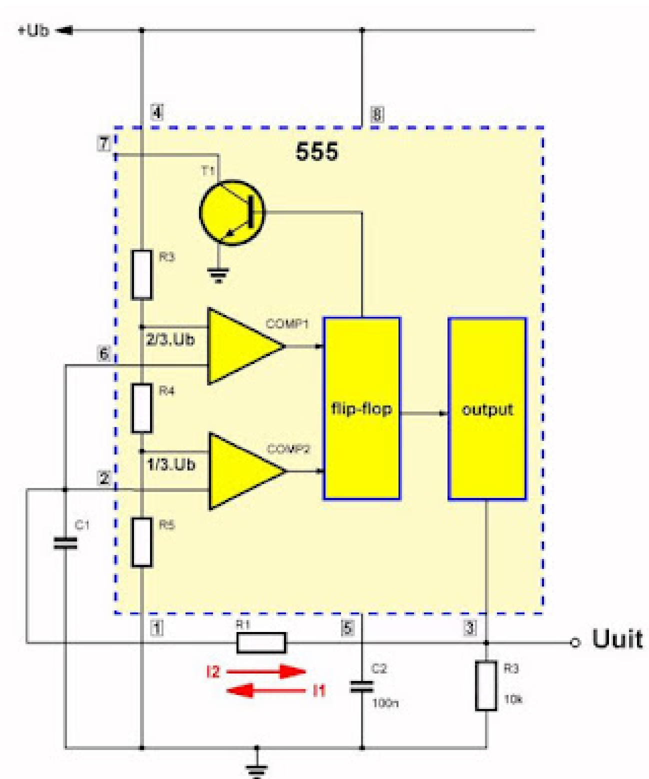
Een AMV met een 555. (© 2026 Jos Verstraten)

De frequentie van de uitgangspulsen
De '*AAN*'/'*UIT*'-verhouding van de uitgangspuls is in te stellen door de verhouding tussen R1 en R2 te wijzigen. Als u voor R1 een grote waarde invult en voor R2 een zeer kleine waarde, dan zal de periode t_1-t_2 klein zijn ten opzichte van de periode t_2-t_3.
De twee perioden worden gegeven door de formules:
$t_{AAN} = 0{,}693 \cdot [R1 + R2] \cdot C1$
$t_{UIT} = 0{,}693 \cdot R2 \cdot C1$
De totale periode van de uitgangspuls wordt dus:
$T = t_{AAN} + t_{UIT}$
$T = 0{,}693 \cdot [R1 + 2 \cdot R2] \cdot C1$
De frequentie f van de uitgangspuls wordt dan:
$f = 1{,}443 / [R1 + 2 \cdot R2] \cdot C1$

Waarde van de weerstanden
De waarde van R1 moet groter zijn dan 1 kΩ, de waarde van R1 + R2 moet altijd kleiner zijn dan 1 MΩ.

Een tijdsymmetrische AMV met een 555
Omdat de condensator C1 laadt via R1 en ontlaadt via [R1 + R2] kunnen de twee tijdconstanten nooit aan elkaar gelijk zijn. De getekende schakeling kan dus nooit een mooie tijdsymmetrische puls genereren. De ontlaadperiode is altijd groter dan de laadperiode!
Als u een tijdsymmetrische uitgangspuls moet hebben, kunt u het schema van de onderstaande figuur toepassen. De condensator C1 wordt nu op- en ontladen uit de uitgangspuls via één weerstand R1. De tijdconstanten van laden en ontladen zijn dan aan

elkaar gelijk.



Een tijdsymmetrische AMV met een 555. (© 2026 Jos Verstraten)